

.....  
**José Pedro Rino**  
 Professor do Departamento de Física  
 da Universidade Federal de São Carlos  
 e-mail: djpr@df.ufscar.br  
 .....

O ser humano vem utilizando materiais granulares há mais de 5000 anos. Exemplo disso são as pinturas feitas pelos homens da era paleolítica em que utilizavam argila e produtos animais, os cosméticos feitos com tinta, gordura, pérola moída e chumbo manipulados pelos chineses e gregos da antiguidade, os remédios feitos com ervas e raízes pelos astecas, as tintas utilizadas por Miguelangelo etc. Em nosso dia a dia deparamo-nos com várias situações em que os meios granulares manifestam suas propriedades. Assim podemos nos perguntar, por exemplo, por que alguns grãos de açúcar sempre caem da colher, por mais cuidadoso que sejamos? Por que uma pilha de livros/papéis que nos parece tão bem arrumada, despenca esparramando-se toda? Ou ainda, por que aquela receita de biscoitos da “vovó” que só rende umas poucas delícias não pode ter seus ingredientes duplicados,

**Materiais granulares são grandes conglomerados de partículas macroscópicas que se caracterizam por serem não coesivos, com uma fronteira bem definida entre eles, e onde a força de repulsão e a gravidade desempenham papel preponderante**

com risco certo de se perder toda a receita? Nos dias de hoje, manipular e misturar materiais granulares é uma atividade de extrema importância e de conotação econômica. É uma tarefa necessária em muitas áreas tecnológicas tais como na construção de uma casa, na construção de rodovias, na manufatura de remédios (fárma-

cos em geral), cereais, adubos, vidros, cerâmicas, explosivos etc.

Mas afinal o que são materiais granulares?

Materiais granulares são grandes conglomerados de partículas macroscópicas tais como açúcar, farinha, um monte de papéis, areia, pós, e mesmo líquidos. Estes materiais caracterizam-se por serem não coesivos, com uma fronteira bem definida entre eles, em que a força de repulsão e a gravidade desempenham papel preponderante. Os materiais granulares comportam-se de maneira bastante diferente dos sólidos, líquidos e gases podendo, então, ser considerados como um outro estado da matéria, devido a suas propriedades e comportamento tão particulares. Duas características básicas definem esses materiais: a temperatura não tem influência sobre o sistema e a interação entre os grãos é dissipativa devido ao atrito estático e a colisões inelásticas entre

eles. Por exemplo, uma pilha de areia mantém-se em equilíbrio se suas encostas tiverem um ângulo menor do que um certo valor. Se a pilha for inclinada acima de um ângulo crítico (por exemplo adicionando-se mais areia à pilha), alguns grãos começarão a se mover – a chamada avalanche. No entanto, este movimento, ou fluxo

A física do dia-a-dia pode muitas vezes não ser percebida, mas está sempre presente onde menos podemos imaginar.

de areia, é completamente diferente do fluxo de um líquido, pois ele só existe na superfície da pilha de areia, estando todo o resto dela em repouso.

O estudo de materiais granulares não é recente. Há uma vasta literatura na engenharia voltada para o estudo de tais materiais. Coulomb (1773) propôs as idéias de fricção estática; Faraday (1831) descobriu a instabilidade convectiva em pós em vasilhas vibrantes e Reynolds (1885) introduziu a noção de “dilatância”<sup>1</sup> a qual implica que materiais granulares compactados devem necessariamente se expandir para que qualquer cisalhamento possa ocorrer. Esta é justamente a explicação para a avalanche da areia. Há necessidade de, primeiro, ocorrer uma dilatância das camadas próximas da superfície para que esta, sob a ação da gravidade, possa fluir. Com a descoberta da Mecânica Quântica no começo do século, o interesse por muitas das questões clássicas que vinham desafiando e intrigando os cientistas foram deixadas de lado. Somente nas últimas duas décadas os físicos e engenheiros tiveram sua atenção ressuscitada para os materiais granulares e suas propriedades. Apesar de sua enorme importância tecnológica, o manuseio e controle dos materiais granulares não são ainda bem desenvolvidos. Algumas estimativas sugerem que há uma perda de 40% da capacidade de muitas fábricas devido somente a problemas de transporte dos materiais de uma parte a outra das fábricas.

Mesmo em repouso, os materiais granulares apresentam comportamento não usual. Por exemplo, em um cilindro cheio de areia, a pressão em sua base é independente da altura do material aí contido, como normalmente se observa para fluidos normais. A pressão na base do cilindro não cresce indefinidamente se mais material for adicionado no cilindro. Para uma coluna bastante grande a pressão atinge um valor máximo que é independente

**O estudo de materiais granulares não é recente. Reynolds, em 1885, introduziu a noção de “dilatância”, a qual implica que materiais granulares compactados devem necessariamente se expandir para que qualquer cisalhamento possa ocorrer**

## O Efeito da Castanha do Pará – segregação granular

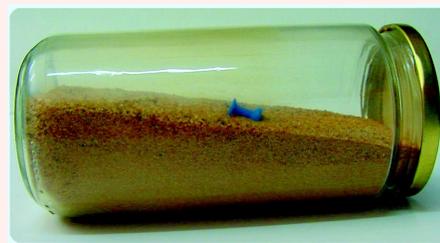
“Por que, em uma mistura de vários tipos de castanha, avelãs, nozes, as Castanhas do Pará sempre ficam na superfície?”

O exemplo típico de segregação granular, o chamado efeito da castanha do Pará, pode ser facilmente observado, com o seguinte experimento. A figura ilustra este efeito. Pegue um vidro de maionese ou azeitonas que seja cilíndrico, de tamanho médio ( $\pm 15$  cm de altura) e encha-o com areia fina de construção (ou sal) mais ou menos até  $2/3$  da altura total do vidro. Coloque também

dois objetos que tenham pesos bastante diferentes, por exemplo, uma pilha AA e um percevejo colorido. Quando o vidro é chacoalhado verticalmente (ver figura a), a pilha rapidamente aparecerá na superfície, enquanto o percevejo desaparece no meio da areia (sal). Agora, se o vidro for chacoalhado horizontalmente (figura b), o percevejo surgirá na superfície e a pilha afundará.



(a)



(b)

da altura do conteúdo do cilindro. Devido às forças de contato entre os grãos e à fricção estática com as paredes do reservatório, o peso extra é suportado pelas paredes do cilindro. O estudo

desse aspecto é de fundamental importância para se determinar e projetar silos para armazenagem de grãos.

A mistura de materiais granulares é outro aspecto de enorme interesse tecnológico. Basta lembrar que remédios, receitas, adubos etc, são, em sua maioria, obtidos a partir da mistura de partículas que podem ter tamanho similares ou não. Neste caso, a mistura dos grãos pode ser feita por vibração ou rotação dos ingredientes. No entanto é muito comum observar padrões de não equilíbrio e segregação dos materiais em que, por mais que se misture sempre há uma separação entre os ingredientes. O experimento mostrado na caixa ao lado exemplifica este fenômeno da segregação, o chamado efeito da castanha do Pará.

O grão grande, no caso, a pilha, rapidamente segrega para a superfície. Observe também que os grãos de areia mais finos juntam-se no centro do vidro. Tal fenômeno tem sérias consequências práticas ao se desejar misturar grãos de diferentes tamanhos – esta rápida segregação pode comprometer a qualidade do produto final. A explicação da segregação da pilha para a superfície tem sido dada por vários modelos, mas a explicação do percevejo afundar, bem como de ocorrer a situação inversa, ao se chacoalhar o vidro horizontalmente, ainda é bastante controversa. Para finalizar, só gostaria de lembrar o que nossas avós já sabiam: para escolher as pipocas maiores e, talvez, mais saborosas e separá-las dos piruás, nada como uma boa chacoalhada na travessa para que a segregação das grandes pipocas rapidamente se verifique.

### Notas

1. Dilatação é o aumento das dimensões do corpo causado por uma variação de temperatura. Dilatância é a expansão de uma região dos grãos perto da fronteira dos mesmos, necessária para a ocorrência do deslizamento.